

SKRIPSI

**DESAIN DAN ANALISIS EFISIENSI TERMAL *WATER HEATER*
*BERBASIS FOTOVOLTAIK***

Disusun dan diajukan oleh:

**MARIO TEGAR AL ANGTONO
D021 19 1112**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN**DESAIN DAN ANALISIS EFISIENSI TERMAL WATER
HEATER BERBASIS FOTOVOLTAIK**

Disusun dan diajukan oleh

MARIO TEGAR AL ANGTONO
D021191112

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal: 19 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 19720825 200003 1 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc
NIP. 19760216 201012 1 002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MARIO TEGAR AL ANGTONO
NIM : D021191112
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“DESAIN DAN ANALISIS EFISIENSI TERMAL WATER HEATER BERBASIS FOTOVOLTAIK”

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 Februari 2024

Yang Menyatakan,



MARIO TEGAR AL ANGTONO

ABSTRAK

MARIO TEGAR AL ANGTONO. *Desain dan Analisis Efisiensi Termal Water Heater Berbasis Fotovoltaik* (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT dan Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc)

Energi surya merupakan suatu sumber energi yang terjamin ketersediannya, energi terbarukan yang memiliki potensi sangat besar di masa yang akan datang. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi dapat digunakan baik secara langsung maupun tidak langsung untuk pemanasan, dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Energi surya dapat digunakan untuk memanaskan air dan udara dengan solar kolektor, serta dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan fotovoltaik. Sistem pemanas air ini didesain untuk memanfaatkan energi surya menjadi sebuah energi listrik dengan menggunakan sel fotovoltaik, yang kemudian dihubungkan ke sebuah elemen pemanas DC untuk memanaskan air dalam tangki. Pengujian alat ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis temperatur optimal air, energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air dan efisiensi termal *water heater* berbasis fotovoltaik. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan volume tangki air yaitu 10 liter, 15 liter, dan 25 liter. Hasil penelitian ini menunjukkan volume tangki air 10 liter dapat meningkatkan temperatur rata-rata air sebesar $10,7^{\circ}\text{C}$. Dan pada volume tangki air 15 liter dapat meningkatkan temperatur rata-rata air sebesar $8,1^{\circ}\text{C}$, serta pada volume tangki air 25 liter dapat meningkatkan temperature rata-rata air sebesar $5,6^{\circ}\text{C}$. Untuk efisiensi dari sel fotovoltaik (polikristal) didapatkan 7,340% dari rata-rata semua variasi volume tangki air. Sementara untuk efisiensi *heater* didapatkan 42,012% dari rata-rata semua variasi tangki air. Adapun untuk nilai efisiensi total didapatkan rata-rata 3,071% untuk semua variasi tangki air.

Kata Kunci : Pemanas Air, Sel Fotovoltaik, *Heater*, Efisiensi.

ABSTRACT

MARIO TEGAR AL ANGTONO. Design and Analysis of Thermal Efficiency of Photovoltaic-Based Water Heater (mentored by Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT dan Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc)

Solar energy is an energy source that is guaranteed availability, renewable energy that has enormous potential in the future. The utilization of solar energy as an energy source can be used either directly or indirectly for heating, and can reduce environmental pollution. Solar energy can be used to heat water and air with solar collectors, and can produce electrical energy using photovoltaics. This water heating system is designed to utilize solar energy into electrical energy using photovoltaic cells, which are then connected to a DC heating element to heat water in the tank. Testing of this tool uses experimental methods to analyze the optimal temperature of water, the energy needed to heat water and the thermal efficiency of photovoltaic-based water heaters. Tests were carried out by varying the volume of the water tank, namely 10 liters, 15 liters, and 25 liters. The results of this study indicate that a 10 liter water tank volume can increase the average water temperature by 10.7°C. And at a water tank volume of 15 liters can increase the average water temperature by 8.1°C, and at a water tank volume of 25 liters can increase the average water temperature by 5.6°C. For the efficiency of the photovoltaic cell (polycrystal), 7.340% was obtained from the average of all variations in the volume of the water tank. Meanwhile, the efficiency of the heater is 42.012% of the average of all variations of the water tank. As for the total efficiency value, an average of 3.071% is obtained for all variations of the water tank.

Keywords: Water Heater, Photovoltaic Cell, Heater, Efficiency.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Surya	5
2.2 Sel Fotovoltaik.....	6
2.3 Sistem Pemanas Air Berbasis Sel Fotovoltaik	9
2.4 Pemanas Air (<i>Heater</i>).....	10
2.5 Perhitungan Efisiensi Sel Fotovoltaik	11
2.6 Perhitungan Efisiensi <i>Heater</i>	12
2.7 Perhitungan Efisiensi Total dan Efisiensi Aktual.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2 Desain Alat Sistem <i>Water Heater</i> Berbasis Sel Fotovoltaik	14
3.3 Skema Instalasi Pengujian dan Titik Pengukuran Alat	15
3.4 Tahapan Pengambilan Data	16
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	17
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Analisa Hasil Pengujian Eksperimental	18
4.2 Pembahasan	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	30
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Monokristal (<i>Mono-crystalline</i>)	7
Gambar 2. Polikristalin (<i>Polycrystalline</i>)	8
Gambar 3. <i>Thin Film Solar Cell</i> (TFSC)	9
Gambar 4. <i>Heater</i> PTC	11
Gambar 5. Desain Tangki <i>Water Heater</i>	14
Gambar 6. Desain Alat <i>Water Heater</i> Berbasis Fotovoltaik.....	14
Gambar 7. Skema Instalasi Pengujian.....	15
Gambar 8. Skema Penelitian	15
Gambar 9. Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 10. Karakteristik Efisiensi Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu.....	24
Gambar 11. Karakteristik Kalor Air Terhadap Waktu.....	25
Gambar 12. Karakteristik Efisiensi <i>Heater</i> Terhadap Waktu	26
Gambar 13. Karakteristik Efisiensi Total Terhadap Waktu.....	27
Gambar 14. Karakteristik Temperatur Air Terhadap Waktu	28

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pengambilan Data	16
---------------------------------	----

DAFTAR SINGKATAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
FF	<i>Fill factor</i>	
V_{MP}	Tegangan Maksimum dari Fotovoltaik	V
I_{MP}	Arus maksimum dari Fotovoltaik	A
P_{MP}	Daya maksimum dari Fotovoltaik	W
V_{OC}	Tegangan rangkaian terbuka	V
I_{SC}	Arus hubung singkat	A
P	Daya	W
V	Tegangan	V
I	Arus	A
P_{in}	Daya Input	W
P_{out}	Daya Output	W
T	Temperatur	°C
T_{awal}	Temperatur Awal	°C
T_{akhir}	Temperatur Akhir	°C
G	Intensitas Cahaya	W/m ²
m_{air}	Massa air	kg
C_{air}	Kalor jenis air	J/kg°C
Q_{air}	Laju aliran kalor	W
P	Massa jenis air	K/m ³
D	Diameter tangki	m
H	Tinggi	m
Δt	Waktu pemanasan air	s
H	Efisiensi	%

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 10 Liter (Data 1)	34
Lampiran 2. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 10 Liter (Data 2)	34
Lampiran 3. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 10 Liter (Data 3)	35
Lampiran 4. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 15 Liter (Data 1)	35
Lampiran 5. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 15 Liter (Data 2)	36
Lampiran 6. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 15 Liter (Data 3)	36
Lampiran 7. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 25 Liter (Data 1)	37
Lampiran 8. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 25 Liter (Data 2)	37
Lampiran 9. Tabel Hasil Pengukuran Volume Tangki 25 Liter (Data 3)	38
Lampiran 10. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 10 Liter (Data 1)	39
Lampiran 11. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 10 Liter (Data 2)	40
Lampiran 12. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 10 Liter (Data 3)	41
Lampiran 13. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 15 Liter (Data 1)	42
Lampiran 14. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 15 Liter (Data 2)	43
Lampiran 15. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 15 Liter (Data 3)	44
Lampiran 16. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 25 Liter (Data 1)	45
Lampiran 17. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 25 Liter (Data 2)	46
Lampiran 18. Tabel Hasil Perhitungan Volume Tangki 25 Liter (Data 3)	47
Lampiran 19. Dokumentasi	48

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan skripsi dan penelitian ini tidaklah mudah, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai ke titik ini. Namun berkat doa dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya penelitian dan skripsi ini telah selesai.

Dengan Tugas Akhir yang berjudul “**DESAIN DAN ANALISIS EFISIENSI TERMAL WATER HEATER BERBASIS FOTOVOLTAIK**”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami penggunaan pemanas air tenaga matahari.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajaran staffnya.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, ST., MT** selaku ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan sebagai pembimbing pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. Bapak **Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc** selaku pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Seluruh dosen penguji, bapak **Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D** dan bapak **Ir. Andi Mangkau, MT** yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi saya.

6. Seluruh staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Drs. Hartono**, ibunda **Hj. Angreani, SE** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan dan kebaikan selama ini, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Saudara tercinta **Jihan Mutia Zaskia** atas doa, dan segala dukungannya selama ini.
3. Seluruh saudaraku **BRUZHLEZZ 2019**. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
4. **Zul, Arham, Achmadani**, dan **Wahyu** teman seperjuangan di Laboratorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
5. Tim Anggota Riset di laboratorium Energi Terbarukan, (Bapak **Muhammad Basri Katjo** dan **Muh. Anis Ilahi R, ST., MT**)
6. Sahabat **CEO FAMS** yang telah memberikan dukungan, doa, semangat serta segala kebaikannya selama ini.
7. Kanda-kanda Senior yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkah dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Mesin.

Gowa, 14 Januari 2024

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi sangat berperan penting di dalam kehidupan manusia sehingga sangatlah perlu untuk memperhatikan ketersediaan energi. Saat ini masih banyak sumber energi yang digunakan berasal dari minyak bumi, sedangkan minyak bumi itu sendiri semakin langka dan harganya yang mahal. Oleh karena itu perlunya untuk mengubah penggunaan sumber energi tak terbarukan ke sumber energi terbarukan yang lebih menjamin ketersediaannya di masa yang akan datang. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai sumber energi adalah energi surya (Widayana, 2012).

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan berupa sinar dan panas dari matahari. Energi ini juga dapat dikatakan sebagai suatu sumber energi yang terjamin ketersediannya, energi terbarukan yang memiliki potensi sangat besar di masa yang akan datang. Khususnya di Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa, beriklim tropis yang memiliki potensi untuk menghasilkan energi surya yang melimpah. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi dapat digunakan baik secara langsung maupun tidak langsung untuk memanaskan, dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Energi surya dapat digunakan untuk memanaskan air dan udara dengan solar kolektor, serta dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan fotovoltaik.

Penggunaan pemanas air dalam rumah tangga maupun dalam dunia bisnis seperti hotel, penginapan, dan lain sebagainya sudah semakin banyak dilakukan. Pemanas air telah menjadi kebutuhan penting dalam rumah tangga maupun dalam dunia bisnis. Perumahan atau hotel yang memiliki sistem pemanas air dianggap memiliki nilai lebih di mata konsumen. Saat ini masih banyak yang menggunakan bahan bakar fosil hingga sampai pada energi listrik untuk memanaskan air, dan ada juga yang telah menggunakan *solar water heater* yang memanfaatkan energi surya untuk pemanasan air.

Sistem pemanas air yang masih menggunakan bahan bakar fosil atau energi listrik yang berasal dari PLN sudah tidak terlalu bagus mengingat bahan bakar fosil saat ini sudah semakin menipis dan harga listrik yang mahal menyebabkan biaya

operasional sistem pemanas air juga akan semakin besar. Hal ini sangat berpengaruh terutama dalam dunia bisnis yang menggunakan sistem pemanas air. Oleh karena itu, salah satu alternatif yang dapat mengatasi yaitu dengan memanfaatkan energi surya untuk memanaskan air dengan menggunakan fotovoltaiik.

Fotovoltaiik adalah istilah yang mencakup konversi cahaya menjadi listrik dengan menggunakan bahan semikonduktor yang menunjukkan efek fotovoltaiik, sebuah fenomena yang dipelajari dalam fisika, fotokimia, dan elektrokimia. Fotovoltaiik merupakan gabungan beberapa sel fotovoltaiik yang dipasang secara seri dan paralel dengan tujuan untuk meningkat tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem beban catu daya. Sistem fotovoltaiik yang khas menggunakan panel surya, masing-masing terdiri dari sejumlah sel fotovoltaiik, yang menghasilkan tenaga listrik agar potensi penggunaan energi surya maksimal maka permukaan fotovoltaiik harus menghadap matahari (Lubna dkk, 2021).

Fotovoltaiik memanfaatkan energi cahaya matahari yang dikonversi menjadi energi listrik yang akan digunakan pada sistem pemanas air. Metode ini dipilih karena memanfaatkan energi terbarukan yang berasal dari cahaya matahari yang lebih murah secara jangka panjang bila dibandingkan dengan pemanas air yang menggunakan daya listrik dari PLN yang sudah beredar. Kondisi iklim tropis di Indonesia juga sangat mendukung implementasi sistem pemanas memanfaatkan fotovoltaiik (Tumangke dkk, 2021).

Sistem pemanas air fotovoltaiik berawal dari sel/panel yang mengubah tenaga surya menjadi listrik. Kemudian energi listrik yang dihasilkan dari sel fotovoltaiik tersebut dapat digunakan untuk memanaskan air dengan menggunakan elemen pemanas DC (*heater*). Sistem pemanas air tenaga surya menggunakan sel fotovoltaiik yang terdiri dari elemen pemanas air DC tetap yang dikendalikan oleh perangkat mikroprosesor untuk mengubah resistansi elemen pemanas, dan memberikan daya maksimum sel fotovoltaiik untuk memanaskan air (Muslim dkk, 2020).

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka perlu dilakukan penelitian dengan judul “**Desain dan Analisis Efisiensi Termal *Water Heater* Berbasis Fotovoltaik**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang muncul dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana proses desain *water heater* berbasis sel fotovoltaik?
2. Berapa temperatur optimal air yang diperoleh pada tangki penyimpanan?
3. Berapa energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air dan berapa efisiensi termal *water heater* berbasis fotovoltaik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, diperoleh beberapa tujuan dari penelitian, yakni:

1. Mendesain *water heater* berbasis sel fotovoltaik.
2. Menganalisis temperatur optimal air yang diperoleh pada tangki penyimpanan.
3. Menganalisis energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air dan mengetahui efisiensi termal *water heater* berbasis fotovoltaik.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian kali ini, batasan masalahnya adalah:

1. *Heater* yang digunakan adalah pemanas air PTC.
2. Variasi volume air dalam tangki yaitu 10 liter, 15 liter, dan 25 liter
3. Sel fotovoltaik yang digunakan adalah jenis *Polycrystalline*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Sebagai bahan referensi untuk penelitian kedepannya dan pengembangan *water heater* berbasis fotovoltaik.
3. Memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi utama dengan menggunakan fotovoltaik untuk memanaskan air.
4. Memanfaatkan *water heater* berbasis fotovoltaik ini guna mengurangi penggunaan listrik serta bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Energi Surya adalah sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediaannya dan energi ini juga dapat di manfaatkan sebagai energi alternatif yang akan di ubah menjadi energi listrik, dengan menggunakan sel fotovoltaik. Sel fotovoltaik atau *solar cell* sejak tahun 1970-an telah mengubah cara pandang kita tentang energi dan memberi jalan baru bagi manusia untuk memperoleh energi listrik tanpa perlu membakar bahan bakar fosil sebagaimana pada minyak bumi, gas alam, batu bara, atau reaksi nuklir. Sel fotovoltaik juga mampu beroperasi dengan baik di hampir seluruh belahan bumi yang tersinari matahari tanpa menghasilkan polusi yang dapat merusak lingkungan sehingga lebih ramah lingkungan (Dewi dan Antonov, 2013).

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di indonesia, mengingat indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan indonesia yang mempunyai luas ± 2 juta km^2 adalah sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 gWp yang didistribusikan. Oleh karena itu energi surya memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan energi fosil, diantaranya: sumber energi yang mudah didapatkan, ramah lingkungan, sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis, instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah, listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai. Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya (Hasan, 2012).

Energi surya salah satu jenis energi terbarukan yang dipancarkan oleh matahari melalui peralatan tertentu untuk menjadi sumber daya dalam bentuk yang berbeda dan dapat digunakan sebagai salah satu energi alternatif. Adapun sel fotovoltaik adalah perangkat yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk

memanfaatkan energi surya adalah teknologi energi surya fotovoltaik (Lubna dkk, 2021).

Pemanfaatan energi surya yang paling banyak yaitu untuk pemanas. Misalkan untuk pengeringan, untuk memanaskan air, untuk pertumbuhan tanaman dan lain sebagainya. Salah satu pengaplikasian penghasil termal yang banyak digunakan yaitu penggunaan kolektor surya sebagai penghasil air panas. Jenis alat pemanas air tenaga surya yang banyak digunakan yaitu kolektor plat datar, dimana kolektor ini sangat disukai dikarenakan pengoperasiannya yang mudah dan biaya yang dibutuhkan murah (Ambarita dkk, 2020).

2.2 Sel Fotovoltaik

Sel fotovoltaik yang juga disebut sel fotovoltaik adalah solid state perangkat listrik yang mengubah energi dari cahaya langsung menjadi listrik oleh efek fotovoltaik. Sel digunakan untuk membuat sel fotovoltaik yang digunakan untuk menangkap energi dari sinar matahari, yang dikenal sebagai panel surya. Energi yang dihasilkan dari sel fotovoltaik, disebut sebagai tenaga surya, adalah contoh dari energi surya. Fotovoltaik adalah bidang teknologi dan penelitian yang berkaitan dengan aplikasi praktis dari sel fotovoltaik dalam menghasilkan listrik dari cahaya, walaupun sering digunakan secara khusus untuk merujuk kepada generasi listrik dari sinar matahari. Sel digambarkan sebagai sel fotovoltaik saat sumber cahaya belum tentu sinar matahari. Ini digunakan untuk mendeteksi cahaya atau radiasi elektromagnetik di dekat kisaran terlihat, misalnya detektor inframerah, atau pengukuran intensitas cahaya (Banne dan Marzuki, 2020).

Sel fotovoltaik bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnet, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Cara kerja sel fotovoltaik adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel, Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan photon. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang dirumuskan dengan persamaan:

$$\lambda E = h.c \quad (1)$$

Dengan h adalah konstanta *Plancks* (6.62×10^{-34} J.s) dan c adalah kecepatan cahaya dalam vakum (3.00×10^8 m/s). Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu (Assiddiq dan Dinahkandy, 2018).

2.2.1 Jenis – Jenis Sel Fotovoltaik

1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Untuk tipe *monocrystalline*, mempunyai ciri khas berwarna hitam (berasal dari silikon murni) berbentuk bundar atau segi delapan (tepatnya segi empat yang dipotong di keempat sisinya). Bentuk *monocrystalline silicon* bersumber dari *silicon ingot* yang dipotong. Kekurangan bentuk mono ini adalah selnya tidak rapat yang menjadi kerugian menyerap panas. Keuntungannya adalah untuk lahan yang sempit dengan intensitas matahari yang tinggi menjadikan sel fotovoltaik *monocrystalline* sangat baik dibandingkan yang jenis *polycrystalline*. Bisa saja tipe mono tersebut dibentuk merapat susunan selnya, tapi kerugian dalam proses produksinya akan terjadi. Disamping itu, kemampuan menyerap panas dan besarnya daya output dengan dimensi yang kecil saja mampu menghasilnya daya yang cukup besar (Mustofa dkk, 2015).

Panel ini adalah panel surya yang paling efisien, yaitu menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), kestabilannya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Panel surya type monokristal dapat dilihat pada Gambar 1 (Ramadani, 2020).



Gambar 1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Sumber : Mustofa dkk, 2015

2. Polikristalin (*polycrystalline*)

Sel fotovoltaik polikristalin umumnya terdiri dari sejumlah kristal yang berbeda, digabungkan satu sama lain dalam satu sel. Pengolahan sel fotovoltaik Si surya polikristalin lebih ekonomis, yang dihasilkan oleh pendinginan cetakan grafit yang diisi dengan silikon cair. Sel fotovoltaik Si polikristalin saat ini adalah sel fotovoltaik yang paling populer. Sel fotovoltaik ini merupakan sel fotovoltaik yang paling banyak digunakan hingga 48% dari produksi sel fotovoltaik di seluruh dunia selama 2008. Selama pemadatan silikon cair, berbagai struktur kristal terbentuk meskipun mereka sedikit lebih murah untuk dibuat dibandingkan dengan panel surya silicon monocrystalline, namun kurang efisien ~ 12% - 14%. Panel surya type Polikristalin dapat dilihat pada Gambar 2 (Sariman dkk, 2019).



Gambar 2. Polikristalin (*Polycrystalline*)

Sumber : Sitohang, 2019

3. *Thin film solar cell* (TFSC)

Jenis sel fotovoltaik ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel fotovoltaik yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel fotovoltaik jenis ini sangat tipis sehingga sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (*Thin Film Fotovoltaik*). Berdasarkan materialnya, sel fotovoltaik thin film ini digolongkan menjadi *Amorphous Thin-Film Silicon* (a-Si) *Solar Cells*, *Cadmium Telluride* (CdTe) *Solar Cells*, *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS) *Solar Cells* (Darwin, 2020).



Gambar 3. *Thin Film Solar Cell* (TFSC)

Sumber : Harahap, 2020

2.3 Sistem Pemanas Air Berbasis Sel Fotovoltaik

Pemanas air berbasis sel fotovoltaik adalah sebuah sistem yang menggunakan energi panas matahari untuk memanaskan air dengan menggunakan sel fotovoltaik yang kemudian dihubungkan dengan elemen pemanas listrik yang berarti tidak lagi menggunakan *inverter* untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), tanpa menggunakan baterai untuk penyimpanan. Pemanas air tersebut terdiri dari *heater* (beban resistif variabel), pengontrol untuk memvariasikan karakteristik beban (*solar charge controller*), dan tangki penyimpanan (Fahrul, 2022).

Tangki penyimpanan merupakan salah satu komponen utama dari pemanas air tenaga surya yang berfungsi sebagai wadah penampung dan penyimpan air. Selama proses pemanasan air berlangsung, temperatur air yang berada di dalam tangki penyimpanan akan naik secara perlahan. Sedangkan temperatur di luar ruangan lebih rendah daripada temperatur air yang berada di dalam tangki penyimpanan. Hal ini akan terjadi proses konveksi alami, yakni di mana kalor yang berada di dalam tangki penyimpanan akan berpindah ke udara luar yang menyebabkan suhu air dalam tangki menurun atau biasa disebut *heat loss*. Selain itu, air yang berada di dalam tangki penyimpanan juga akan mengalir dan bersirkulasi dari tangki penyimpanan ke kolektor surya dan sebaliknya. Hal ini juga dapat mengakibatkan terjadinya *heat loss*, karena besar dari debit air yang diberikan akan berpengaruh pada besar jumlah kalor yang terbuang pada air yang berada di dalam tangki penyimpanan. Karena itu diperlukan modifikasi untuk mencegah terjadinya *heat loss* pada tangki penyimpanan yaitu dengan menambahkan berbagai

macam bahan insulasi yang dipasang di bagian luar tangki penyimpanan (Wicaksono dkk, 2017).

2.4 Pemanas Air (*Heater*)

Pemanas atau sering disebut juga *heater* merupakan salah satu jenis pemanas yang memanfaatkan arus listrik sebagai input daya untuk menghasilkan listrik. *Heater* merupakan teknologi yang banyak dikembangkan karena *heater* tidak menggunakan api untuk memanaskan benda melainkan dengan memanfaatkan sel fotovoltaik untuk menghasilkan arus listrik searah (DC) yang kemudian disalurkan melalui koil yang terbuat dari tembaga (Dirja dan Jihan, 2019).

Berdasarkan penelitian terdahulu Butler (2016) telah mematenkan pemanas DC fotovoltaik berdasarkan pemanasan resistif elemen yang dirancang untuk pencelupan ke dalam tangki air panas standar dan yang dapat digunakan juga dalam aplikasi lain (wadah cairan terbuka, pemanas udara, dan lain-lain). Pasar saat ini menawarkan sejumlah sistem pemanas PV dengan susunan PV yang langsung digabungkan ke pemanas listrik DC. Sistem pemanas air PV sederhana dengan ketahanan beban DC yang dioptimalkan namun tetap dari elemen pemanas resistif DC tidak memerlukan unit control tambahan. Kontrol resistansi beban dengan menggunakan pengaktifan dan penonaktifan sejumlah elemen resistif tambahan dengan relai untuk menyesuaikan resistansi beban dengan kondisi larik PV menghasilkan unit kontrol mikroprosesor tingkat lanjut.

Elemen Pemanas Listrik (*Electrical Heating Element*) pada *water heater* yaitu sebuah alat elektrik yang dapat memanaskan air dengan mudah dan dalam waktu yang singkat. Sumber panas elemen itu didapatkan dari kawat yang mempunyai tahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*), itulah mengapa kawat ini tidak meleleh ataupun terbakar saat *heater* memanaskan (Afra dkk, 2020). Adapun salah satu contoh pemanas air *portable* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Heater PTC

Sumber : Wicaksono dkk, 2023

2.5 Perhitungan Efisiensi Sel Fotovoltaik

Nilai efisiensi panel surya dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dari hasil pengukuran Istiqmal dkk (2018) sebagai berikut :

1. Tegangan Maksimum (V_{mp})
2. Arus Maksimum (I_{mp}) P_{max}
3. Tegangan Tanpa Beban (V_{oc})
4. Arus Hubung Singkat (I_{sc})
5. Nilai Fill Factor

Nilai fill factor berkisar 0,7 – 0,85. Panel surya akan bekerja semakin baik apabila semakin besar nilai FF suatu panel surya, dan akan memiliki efisiensi yang semakin tinggi. Perhitungan nilai FF dapat dilihat pada persamaan :

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2)$$

6. Daya Output

Perhitungan daya output dapat dilihat pada persamaan

$$P_{Max} = V_{oc} \times FF \times I_{sc} \quad (3)$$

Keterangan :

V_{oc} = Tegangan Rangkaian Terbuka (Volt)

I_{sc} = Arus Rangkaian Terbuka (Ampere)

FF = Fill factor

7. Efisiensi Panel Surya

Perhitungan efisiensi panel surya dapat dilihat pada persamaan

$$\eta = \frac{P_{out}}{G \times A} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

P = Daya (watt)

G = Intensitas Matahari (watt/m²)

A = Luas Penampang panel surya (m²)

2.6 Perhitungan Efisiensi Heater

Laju aliran kalor yang diterima air di dalam tangki dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_{air} = \frac{m_{air} c_{air} (T_{akhir} - T_{awal})}{\Delta t} \quad (5)$$

$$m_{air} = \rho \left(\frac{\pi D^2 h}{4} \right) \quad (6)$$

Keterangan :

m_{air} = Massa air di dalam tangki (kg)

c_{air} = Kalor jenis air (J/kg°C)

T_{in} = Suhu air masuk tangki (°C)

T_{out} = Suhu air keluar tangki (°C)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

D = Diameter tangki (m)

h = Tinggi tangki (m)

Δt = Waktu pemanasan air (s)

Kalor yang diberikan oleh *heater* dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_h = V_h \cdot I_h \quad (7)$$

Keterangan :

V_h = Tegangan *heater* (V)

I_h = Arus *heater* (A)

Perhitungan efisiensi *heater* dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\eta_h = \frac{q_{air}}{q_h} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan :

q_{air} = Laju aliran kalor yang diterima air (W)

q_h = Laju aliran kalor dari *heater* (W)

2.7 Perhitungan Efisiensi Total dan Efisiensi Aktual

Efisiensi total yaitu efisiensi secara keseluruhan dari sistem *water heater* berbasis sel fotovoltaik dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\eta_{total} = \eta_{pv} \times \eta_h \quad (9)$$

Keterangan :

η_{pv} = Efisiensi sel fotovoltaik

η_h = Efisiensi *heater*

Efisiensi aktual adalah perbandingan antara energi yang diterima oleh air di dalam tangki dengan energi yang tersedia dari sel fotovoltaik.

$$\eta_{act} = \frac{q_{air}}{P_{in}} \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan :

q_{air} = Energi yang diterima air (W)

P_{in} = Daya input sel fotovoltaik